Estimation des besoins d'eau d'irrigation d'après les données météorologiques

Publication 1054
MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE DU CANADA
1965

630.4
C212
P 1054
1965
(impr.
1968)
fr.
c.3

Digitized by the Internet Archive
in 2012 with funding from
Agriculture and Agri-Food Canada – Agriculture et Agroalimentaire Canada

http://www.archive.org/details/estimationdesbes00robe

ESTIMATION DES BESOINS D'EAU D'IRRIGATION D'APRÈS LES DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES

Geo. W. Robertson[1 2] et R.M. Holmes[1]

Introduction

Le but principal de l'irrigation est de corriger la mauvaise distribution de la pluie ou la faible pluviosité dans une région. On sait qu'à Ottawa la précipitation annuelle de 35 pouces est supérieure à la quantité d'eau évaporée en été, soit 19 pouces. Malheureusement, une bonne partie de la précipitation survient au cours de la période la plus fraîche de l'année alors que l'évaporation est faible. En été, alors que l'évaporation est forte, il arrive souvent, mais pas toujours, que la pluviosité soit insuffisante pour assurer de bonnes récoltes. La distribution inégale de la précipitation est assez générale dans toute la zone dite à climat humide de l'est du Canada.

Comme le besoin d'irrigation dépend des caprices du climat, il est tout naturel de penser que l'étude des données climatiques peut aider à estimer les besoins d'eau. C'est ainsi que lors de la planification de l'irrigation et de l'achat de l'équipement, les données des années précédantes permettent de prévoir:

1) les réserves d'eau nécessaires pour irriguer une superficie déterminée
2) le système de capacité suffisante pour irriguer durant les périodes les plus sèches
3) la période de l'été où le besoin d'eau se fait le plus sentir.

Une fois le système installé, les données climatiques quotidiennes permettent de calculer les pertes et les apports d'eau et de décider a) à quel moment il faut irriguer; b) combien d'eau on doit appliquer.

Lorsque les réserves d'eau sont limitées, il importe d'éviter les gaspillages et d'irriguer au bon moment, avant que les cultures ne commencent à souffrir. Même si l'eau est abondante, on aura soin de n'appliquer que la quantité nécessaire. L'excès d'eau délave les principes nutritifs de la zone des racines et provoque la saturation du sol au détriment des cultures ainsi privées d'air.

Capacité de rétention d'eau des sols

La capacité au champ désigne la quantité maximum d'eau que le sol peut retenir sans être saturé, c'est-à-dire la quantité d'eau qui reste entre les particules du sol après que l'excès des plus grands espaces lacunaires s'est écoulé ou, en d'autres mots, toute l'eau qu'un sol bien drainé peut retenir.

Le point de flétrissement est la quantité minimum d'humidité du sol utilisable par les plantes. Quand l'humidité s'abaisse à un niveau inférieur à ce point, la culture subit des dommages irréparables.

---

[1] Section de météorologie agricole, Institut botanique, Direction de la recherche
[2] Prêté par la Direction de la météorologie, ministère des Transports

La différence entre la capacité au champ et le point de flétrissement constitue l'eau utile. Le pourcentage d'eau retenue par divers sols à la capacité au champ et au point de flétrissement apparaît au tableau 1. On y voit aussi, exprimée en pouces, la quantité d'eau utile, contenue dans une couche de sol d'un pied de profondeur.

Les sols sablonneux qui présentent de grands espaces lacunaires retiennent moins d'eau que les argiles à texture fine et à petits espaces lacunaires. Les grands espaces lacunaires des sols grossiers libèrent plus facilement l'eau qui s'infiltre en profondeur au-delà de la zone des racines et est ainsi perdue pour les cultures.

Tableau 1. Données sur la capacité au champ, le point de flétrissement et la capacité de rétention d'eau des sols.*

Type de sol	Capacité au champ	Point de frétrissement	Capacité normale de rétention d'eau dans un pied d'épaisseur de sol
	pourcentage	pourcentage	pouces
Loam sablonneux	10	3.5	1.0
Loam et loam limoneux	18	7.0	1.5
Loam argileux et loam limono-argileux	26	10.5	1.8
Argile	35	17.0	2.2

*Laboratoire de recherches sur le sol, Swift Current: ((Soil moisture, wind erosion and fertility of some Canadian Prairie Soils)). Pub. 819, ministère de l'Agriculture du Canada, 1949, avec certaines modifications.

La quantité totale d'eau utile aux plantes dépend à la fois de la profondeur de l'enracinement et du type de sol. Il est d'usage courant d'irriguer lorsque la moitié de l'eau utile est épuisée. Cette méthode empirique est recommandable mais il semble que la croissance maximum coïncide avec des réserves d'eau aussi rapprochées que possible de la capacité au champ.

Le bilan de l'eau

L'application des données climatiques aux besoins d'irrigation présuppose une connaissance de l'économie des apports et des pertes dans le bilan de l'eau du sol. En climat semi-humide, la pluie et l'irrigation constituent le seul apport d'eau; l'évaporation du sol et la transpiration des plantes, la seule perte. Il est assez facile de calculer les modifications quotidiennes de la teneur en eau du sol. Le déficit en eau par rapport à la capacité au champ à la fin d'une journée égale le déficit atteint la veille plus le total d'eau évaporée et transpirée au cours de la journée et moins la pluie et l'irrigation de ce même jour. En d'autres termes, l'évaporation du sol et la transpiration des plantes consomment de l'eau et augmentent le déficit; la pluie et l'irrigation ajoutent de l'eau au sol, abaissent le déficit et refont les réserves en eau du sol.

Le calcul des apports d'eau par la pluie et l'irrigation est facile; la détermination des pertes par évaporation et transpiration l'est beaucoup moins. Plusieurs méthodes d'estimation ou de détermination indirecte ont été proposées pour calculer ces pertes.

Thornthwaite (1) a développé la théorie de l'évapotranspiration potentielle. D'après cette théorie, le total des pertes journalières par évaporation et par transpiration s'établirait, indépendamment de la culture, uniquement d'après certains facteurs météorologiques, pourvu que la culture soit en voie de croissance, recouvre entièrement le sol et ait des réserves suffisantes d'humidité.

Voici le fondement de cette thèse: l'évaporation d'un gramme d'eau demande environ 590 calories, que l'eau provienne du sol, de la cellule végétale ou des gouttelettes à la surface des plantes. En plein champ, la chaleur qui permet l'évaporation provient des radiations solaires et atmosphériques, de même que des courants d'air. Cette chaleur étant limitée, il existe un taux maximum d'évaporation sous des conditions météorologiques données: d'où l'expression potentielle. L'évapotranspiration est la somme de l'évaporation de l'eau du sol et de la transpiration des cultures.

Trois points à noter en rapport avec ce concept de l'évapotranspiration potentielle:

1. *Taux d'utilisation quotidienne d'eau* — Les cultures ne consomment pas toutes la même quantité totale d'eau. Les cultures à courte végétation (pois) consomment une quantité totale d'eau moindre que les cultures à végétation longue (betteraves à sucre), bien que le taux quotidien moyen d'utilisation soit sensiblement le même pour les deux.

2. *Humidité suffisante du sol* — Les spécialistes admettent que, pour suffire aux besoins des cultures en croissance, la teneur en eau du sol ne devrait pas descendre à moins de 50 p. cent de la capacité au champ. Il semble que la teneur idéale d'humidité s'établisse au niveau de la capacité au champ, voire même légèrement au-dessus. La profondeur et la porosité du sol dans la zone des racines règlent probablement la quantité totale d'eau utile. L'humidité jugée suffisante pour les plantes à racines superficielles, en terre sablonneuse, peut être bien différente de l'humidité suffisante pour les plantes à racines profondes sur loam argileux. La quantité d'eau disponible dans le cas d'une culture à racines superficielles sur terre sablonneuse, s'épuisera plus rapidement que les réserves plus abondantes pour une culture à racines profondes, en sol argileux. Les récoltes sur terre sablonneuse souffrent plus de la sécheresse que les récoltes sur sol argileux.

3. *Terre complètement recouverte de végétation* — Vu que le processus d'évaporation de l'eau du sol et de la transpiration des cultures ont un effet sur la teneur en eau du sol, il y a lieu de considérer quatre situations par rapport à la végétation de couverture:

a) Surface du sol humide et complètement recouverte de végétation.

La végétation intercepte la presque totalité de la chaleur du soleil et du vent. La plus grande partie de cette chaleur est utilisée dans le processus de la transpiration. L'évaporation du sol ne représente qu'une faible fraction de l'évapotranspiration potentielle.

b) Surface du sol humide et incomplètement recouverte de végétation.

La culture n'intercepte qu'une partie de la chaleur du soleil et du vent.

La terre absorbe le reste, lequel concourt à l'évaporation en surface de l'eau du sol. Le rapport entre la transpiration et l'évapotranspiration totale varie selon la fraction de chaleur interceptée par la culture. Tant que la surface du sol demeure humide, l'évaporation et la transpiration totales sont égales à l'évapotranspiration potentielle.

c) Surface du sol sèche et complètement recouverte de végétation.

Ce cas ne diffère guère de celui du paragraphe a). La végétation intercepte la majeure partie de la chaleur et la quantité qui atteint la surface du sol est minime. La transpiration est ici le principal processus de perte d'eau et concourt à la plus grande partie de l'évapotranspiration potentielle.

d) Surface du sol sèche et incomplètement recourverte de végétation.

La chaleur non interceptée par les plantes atteint le sol. Il n'y a pas d'eau à évaporer et le sol se réchauffe. La transpiration est proportionnelle à la chaleur interceptée par les feuilles et ne représente qu'une partie de l'évapotranspiration potentielle.

Calcul estimatif de l'évapotranspiration potentielle

Plusieurs méthodes ont été proposées: la plus connue peut-être et la plus simple est celle de Thornthwaite (1), basée sur la moyenne de la température de l'air et de la longueur du jour. Elle s'appuie sur des données établies depuis longtemps aux stations climatologiques. Cependant cette formule ne tient pas compte de facteurs aussi importants que l'insolation, le vent et la tension de la vapeur.

Penman (2) de la Station de Rothmastead, a élaboré une formule assez précise où figurent tous ces facteurs météorologiques. Sa formule est cependant très compliquée.

Plusieurs essais ont été faits en vue d'obtenir des mensurations directes et indirectes de l'évapotranspiration potentielle. La méthode directe consiste à placer de la terre dans un réservoir et à ajouter de l'eau à tous les jours. Divers moyens permettent de mesurer la quantité d'eau consommée par une culture croissant dans ce réservoir. Cette méthode est satisfaisante pour la vérification des théories et des formules, mais trop incommode pour être généralisée.

La méthode indirecte utilise soit le réservoir d'eau de 4 pieds de diamètre et à ciel ouvert, l'atmomètre de Piché, l'atmomètre à bulbe sphérique de Livingston, les bacs d'évaporation de Wright et Summerland ou l'atmomètre à plaque noire de Bellani. Ces instruments ne mesurent que le pouvoir desséchant de l'air ou évaporation latente et non pas l'évapotranspiration potentielle. Des essais pratiqués à la Ferme expérimentale centrale font voir que l'atmomètre de Bellani est un instrument des plus utiles pour mesurer le pouvoir desséchant de l'air ou mieux, l'évaporation latente (3) (4).

L'atmomètre de Bellani est peu coûteux. Il est constitué d'une plaque noire et poreuse qu'il est facile de tenir humide. L'eau qui s'évapore de cette surface noire peut être mesurée facilement pour des périodes aussi courtes que quelques minutes ou aussi longues que plusieurs jours.

Lorsque la plaque est intièrement exposée au soleil et aux libres courants d'air, les variations de l'évaporation latente concordent très sensiblement avec celle de l'évapotranspiration potentielle calculée d'après la formule de Penman.

En d'autres mots, l'atmomètre à plaque noire de Bellani semble intégrer l'influence qu'exercent les quatre facteurs météorologiques --insolation, vent, température, tension de vapeur--à peu près de la même façon que le fait une culture.

L'évaporation latente s'exprime en volume d'eau (en centimètres cubes) évaporée par une surface noire standard. Pour représenter l'évapotranspiration potentielle, l'évaporation latente doit être multipliée par le facteur 0.0034. Ce facteur est le produit de comparaisons avec l'évaporation libre de l'eau, les mensurations effectives de l'évapotranspiration et les données de l'irrigation. De nouvelles études comparatives permettront peut-être de modifier légèrement ce facteur.

Données climatiques et programmes d'irrigation

L'application du concept de l'évapotranspiration potentielle au calcul du déficit en eau du sol (5) constitue un moyen simple et efficace de déterminer les besoins d'irrigation au moyen de données climatologiques. Plusieurs stations possèdent des relevés de la température et de la précipitation journalières et cela pour une longue période; aussi les études climatologiques du bilan d'eau du sol sont-elles basées sur ces seuls facteurs.

A Ottawa, l'analyse électronique de la température et de la précipitation journalières des 66 dernières années, a permis d'établir le bilan d'eau de cinq sols différents. Les tableaux 2 à 7 résument les résultats de l'analyse. Ils indiquent, exprimés en pourcentages, le risque ou la fréquence probable de la quantité d'irrigation requise pour chaque mois et pour la saison entière selon divers pouvoirs de retention d'eau du sol. Le risque, indique le nombre d'années par 100 ans où un supplément d'eau sera requis. Dans le tableau 2 par exemple, on voit que si le pouvoir de retention d'eau du sol est d'un pouce, le besoin d'eau d'irrigation dépassant 10.8 pouces risque de se produire 10 fois seulement en 100 ans, ou une fois en 10 ans.

En traçant les plans d'un système d'irrigation, certains agriculteurs peuvent préférer courir un plus grand risque et acheter moins d'équipement. De plus, il n'est peut-être pas économique de se procurer un système assez puissant pour réduire au minimum tout risque d'un outillage insuffisant.

Peu de cultures requièrent l'irrigation toute la saison d'avril à octobre. En estimant la matériel voulu pour irriguer les cultures à courte saison de croissance, il y aura avantage à référer aux tableaux 3 à 7 où figurent les risques de besoins mensuels d'eau pour différents sols.

Durant la période la plus sèche qui survient d'ordinaire en juillet, il faut accepter le risque de ne pouvoir irriguer aussi souvent que nécessaire. Le tableau 8 aidera à déterminer l'ampleur de ce risque si l'on assume que le besoin journalier d'eau supplémentaire ne dépasse pas un volume déterminé. Si, par exemple, le système d'irrigation fournit l'équivalent de .20 pouce d'eau par jour (c'est-à-dire 1 pouce sur 20 acres en 5 jours, au taux de 4 acre-pouces par jour), le risque de ne pouvoir compléter l'irrigation du dernier champ avant que le besoin d'eau ne se fasse sentir dans le premier s'établit à 17.5 p. cent en juillet. Pour atténuer ce risque il faudrait un système plus puissant et une plus grande réserve d'eau.

Tableau 2. Besoins annuels d'eau d'irrigation à Ottawa.
(Risque exprimé en pourcentages, nombre d'années sur 100, pour des sols à pouvoir de retention d'eau variable dans la zone des racines)

Risque	Pouvoir de rétention d'eau				
%	1 po.	2 po.	4 po.	6 po.	10 po.
	Besoins d'eau d'irrigation en pouces				
75	6.4	3.7	.7	–	–
50	7.9	5.8	3.1	.9	–
25	9.4	7.9	5.5	3.3	–
20	9.8	8.4	6.1	3.9	–
15	10.3	9.0	6.8	4.6	.7
10	10.8	9.7	7.7	5.4	1.5
5	11.6	10.8	9.0	6.7	2.7
1	13.2	12.9	11.4	9.1	5.1

Tableau 3. Besoins mensuels d'eau d'irrigation à Ottawa.
(Risque exprimé en pourcentages, nombre d'années sur 100, pour un sol à pouvoir de retention d'eau de 1 pouce dans la zone des racines)

Risque	mai	juin	juill.	août	sept.	oct.
%	Besoins d'eau d'irrigation en pouces					
75	–	1.1	1.7	1.1	.3	–
50	.3	1.7	2.5	1.9	.8	–
25	1.2	2.3	3.4	2.8	1.3	.2
20	1.4	2.4	3.6	2.9	1.5	.3
15	1.6	2.6	3.8	3.2	1.6	.4
10	1.9	2.8	4.1	3.5	1.8	.5
5	2.3	3.2	4.6	3.9	2.1	.7
1	3.2	3.8	5.5	4.8	2.7	1.1

Tableau 4. Besoins mensuels d'eau d'irrigation à Ottawa.
(Risque exprimé en pourcentages, nombre d'années sur 100, pour un sol à pouvoir de retention d'eau de 2 pouces dans la zone des racines)

Risque	mai	juin	juill.	août	sept.	oct.
%	Besoins d'eau d'irrigation en pouces					
75	–	–	.8	.7	–	–
50	–	.6	1.7	1.6	.5	–
25	–	1.3	2.6	2.5	1.1	–
20	.1	1.5	2.8	2.7	1.3	.1
15	.4	1.7	3.1	3.0	1.4	.2
10	.7	2.0	3.4	3.3	1.7	.4
5	1.1	2.3	3.9	3.8	2.0	.6
1	2.0	3.0	4.8	4.7	2.6	1.1

Tableau 5. Besoins mensuels d'eau d'irrigation à Ottawa.
(Risque exprimé en pourcentages, nombre d'années sur 100, pour un sol à pouvoir de retention d'eau de 4 pouces dans la zone des racines)

Risque	mai	juin	juill.	août	sept.	oct.
%		Besoins d'eau d'irrigation en pouces				
75	–	–	.3	.3	–	–
50	–	–	.9	1.2	.2	–
25	–	.1	2.0	2.1	.9	–
20	–	.3	2.3	2.4	1.1	–
15	–	.5	2.6	2.5	1.3	.2
10	–	.8	3.0	3.0	1.6	.3
5	–	1.3	3.5	3.5	1.9	.6
1	–	2.2	4.6	4.4	2.6	1.0

Tableau 6. Besoins mensuels d'eau d'irrigation à Ottawa.
(Risque exprimé en pourcentages, nombre d'années sur 100, pour un sol à pouvoir de retention d'eau de 6 pouces dans la zone des racines)

Risque	mai	juin	juill.	août	sept.	oct.
%		Besoins d'eau d'irrigation en pouces				
75	–	–	–	–	–	–
50	–	–	–	.7	–	–
25	–	–	.4	1.7	.8	–
20	–	–	.7	1.9	1.0	–
15	–	–	1.2	2.2	1.2	–
10	–	–	1.5	2.5	1.5	.2
5	–	–	2.1	3.0	1.9	.5
1	–	–	3.3	4.0	2.6	1.0

Tableau 7. Besoins mensuels d'eau d'irrigation à Ottawa.
(Risque exprimé en pourcentages, nombre d'années sur 100, pour un sol à pouvoir de retention d'eau de 10 pouces dans la zone des racines)

Risque	mai	juin	juill.	août	sept.	oct.
%		Besoins d'eau d'irrigation en pouces				
75	–	–	–	–	–	–
50	–	–	–	–	–	–
25	–	–	–	–	–	–
20	–	–	–	–	–	–
15	–	–	–	–	–	–
10	–	–	–	–	–	–
5	–	–	–	–	.8	–
1	–	–	–	1.5	2.5	.5

Tableau 8. Risque à Ottawa, en juillet, des besoins journaliers de la végétation en eau au-delà de certaines quantités déterminées

Besoins minimums d'eau par jour pouces	Risque pourcentage (jours sur 100)
.10	99
.13	90
.15	75
.17	50
.19	25
.21	10
.24	1

Détermination des quantités d'eau à appliquer

La tenue journalière du bilan de l'eau du sol offre un moyen pratique de déterminer le moment d'irriguer. Il faut d'abord connaître la réserve d'eau utile, laquelle dépend de la profondeur de l'enracinement de la culture et du pouvoir de rétention d'eau dans la zone des racines.

Une expérience faite à Ottawa en 1955, a permis de déterminer le temps d'irrigation en se servant de blocs à résistance électrique, d'une part, et, d'autre part, du bilan météorologique comportant les relevés de l'évaporation et de la précipitation. L'atmomètre Bellani a servi à déterminer l'évapotranspiration potentielle. Dans les deux cas, le pouvoir de rétention d'eau du sol fût considéré comme étant de 3 pouces. Chaque fois que la réserve d'eau baissait de la moitié, c'est-à-dire à 1½ pouces, on appliquait 1 pouce d'eau, ce qui laissait une marge de ½ pouce en cas de pluie qui pouvait survenir immédiatement après l'irrigation et nuire à la végétation.

Au cours de l'été, l'apport d'eau d'irrigation a été de 15 pouces, selon la méthode des blocs à résistance électrique, contre 14 pouces selon la méthode du bilan météorologique. Puisque les deux parcelles ont reçu 11 pouces de pluie, la différence totale d'eau appliquée selon les deux méthodes n'a été que de 4 p. cent environ. La tenue du bilan météorologique n'a requis qu'un dixième environ du travail nécessité pour la détermination de l'eau à l'aide des blocs.

Le tableau 9 illustre un exemple de calcul du bilan de l'eau du sol au cours de cette expérience. Le terme déficit signifie insuffisance dans la réserve en eau du sol. En d'autres mots, il indique la quantité d'eau d'irrigation nécessaire pour atteindre la capacité au champ.

En calculant le bilan de l'eau du sol, il faut se rappeler que l'évapotranspiration potentielle comprend l'eau consommée par les plantes, ce qui tend à accroître le déficit. D'autre part, la pluie et l'eau d'irrigation apportent de l'eau au sol, ce qui atténue le déficit. Advenant que l'apport d'eau de pluie et d'irrigation dépasse la quantité nécessaire pour combler le déficit, le surplus s'inscrit dans la colonne appropriée. Ce surplus est emporté par ruissellement ou infiltration sous la rhizosphère (zone des racines) et ne sert pas à la végétation.

Au premier août, le déficit atteignait 2.17 pouces et le moment de l'irrigation était déjà dépassé. Le 2, on appliqua 1 pouce d'eau. L'évapotranspiration élevée du 2 et du 3, savoir respectivement 0.25 et 0.23 pouce, a fixé le déficit à 1.65. Un pouce d'eau fut appliqué le 4, ce qui, ajouté à 0.37 pouce de pluie, a réduit le déficit à 0.45 pouce. La pluie survenue par la suite a maintenu le déficit inférieur à 0.80 pouce durant plusieurs jours. Le 13, 0.89 pouce de pluie est tombé, alors que le déficit n'était que 0.51 pouce. Il y avait donc un surplus d'eau qui devait se perdre, soit par ruissellement, soit par infiltration dans le sous-sol. Par la suite les précipitations sont devenues plus faibles et plus rares: le déficit a donc augmenté. Le 26 il était évident que le déficit atteindrait 1.50 pouce; on a alors appliqué 1 pouce d'eau.

Conclusion

Un peu d'expérience dans l'usage de ce bilan d'eau du sol démontrera son utilité dans l'établissement des programmes d'irrigation. La consommation journalière moyenne d'eau par les cultures est de l'ordre de 0.15 à 0.20 pouce. De plus l'expérience et l'étude des prévisions météorologiques quotidiennes aident à estimer le besoin d'eau. Par temps chaud et ensoleillé, avec basse humidité relative et un vent même léger, la consommation d'eau sera forte, soit 0.25 à 0.35 pource par jour; par temps nuageux, humide et frais, la dépense sera moindre, probablement 0.05 à 0.10 pouce seulement.

La méthode du bilan météorologique offre un moyen systématique d'appliquer les données et les prévisions météorologiques à la solution des problèmes que pose l'élaboration d'un programme d'irrigation.

Tableau 9 Bilan de l'eau du sol
Ottawa, août 1955

Date	Évaporation latente É.l.	Évapotranspiration potentielle = e.l. x 0.0034	Pluie	Irrigation	Humidité du sol déficit	Humidité du sol surplus
	c.c.	pouces	pouces	pouces	pouces	pouces
1					2.17	
2	74	.25		1.00	1.42	
3	67	.23			1.65	
4	50	.17	.37	1.00	.45	
5	40	.14	.08		.51	
6	53	.18	.40		.29	
7	43	.15			.44	
8	41	.14			.58	
9	64	.22			.80	
10	24	.08	.65		.23	
11	27	.09			.32	
12	57	.19			.51	
13	12	.04	.89		.00	.34
14	47	.16	.02		.14	
15	47	.16	.11		.19	
16	13	.04			.23	
17	28	.10			.33	
18	36	.12			.45	
19	58	.20			.65	
20	46	.16	.37		.44	
21	70	.24			.68	
22	49	.17			.85	
23	39	.13			.98	
24	48	.16			1.14	
25	44	.15			1.29	
26	46	.16			1.45	
27	56	.19	.02	1.00	.62	
28	46	.16			.78	
29	54	.18			.96	
30	26	.09	.37		.68	
31	60	.20			.88	

Bibliographie

1. Thorthwaite, C.W. : An approach toward a rational classification of climate. Geo. Rev.; 38:55-94, 1948.
2. Penman, H.L. : Natural evaporation from open water, bare soil, and grass. Proc. Roy. Soc. A. 193:120-145, 1948.
3. Robertson, Geo. W. : Latent evaporation: Its concept, measurement and application; Processed bulletin, Field Husbandry, Soils and Agricultural Engineering Division, Experimental Farms Service, Ottawa; 1954.
4. Robertson, Geo. W. : The standardization of the measurement of evaporation as a climatic factor; technical Note No. 11; World Meteorological Organization, Geneva; No. 42 T.P. 16, pp. 1-10; 1955.
5. Van Bavel, C.H.M. : A drought criterion and its application in evaluating drought incidence and hazard; Agronomy Journal; 45:167-171; 1953.

Autres ouvrages de référence

Bouchet, R.J. Signification et portée agronomique de l'évapotranspiration potentielle. Ann. Agron., 12(1), 51-63, 1961.

Bourget, S.J. Facteurs physiques de la productivité du sol. Agriculture 16:(3) 71-75, 1959.

Geslin, H. L'eau et la production végétale. Institut National de la Recherche Agronomique, 149 rue de Grenelle, Paris, 450 pp., 1963.

Ouellet, C.E. Alimentation en eau des pâturages. Agriculture 21(3), 1964.

Ouellet, C.E., R. Martineau et G. Laporte. Irrigation sur pâturage: détermination, fréquence et rentabilité. Can. Jour. of Plant Sci. 43, 370-378, 1963.

Turc, L. Évaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle. Ann. Agron., 12(1), 13-49, 1961.

CAL/BCA OTTAWA K1A 0C5
3 9073 00203063 5

CANADA AGRICULTURE

On peut obtenir des exemplaires de cette publication à la:

DIVISION DE L'INFORMATION
MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE DU CANADA
OTTAWA

Imprimé 1965
Réimprimé 1968

ROGER DUHAMEL, M.S.R.C., IMPRIMEUR DE LA REINE ET CONTRÔLEUR DE LA PAPETERIE, OTTAWA, 1968

1M-34404-9:68 N° DE CAT. A53-1054F